

24971

K



① BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

② Patentschrift  
③ DE 198 27 880 C 1

④ Int. Cl.<sup>6</sup>  
H 01 M 8/24  
B 80 L 11/18

⑤ Aktenzeichen: 198 27 880.2-45  
⑥ Anmeldetag: 23. 6. 98  
⑦ Offenlegungstag: -  
⑧ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 23. 12. 98

DE 198 27 880 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑨ Patentinhaber:

DBB Full Cell Engines GmbH, 73230 Kirchheim, DE

⑩ Erfinder:

Jansen, Axel, Dipl.-Ing., 89081 Ulm, DE; Paul,  
Steffen, Dr.-Ing., 81476 München, DE; Sonntag,  
Josef, Dipl.-Ing., 89250 Senden, DE; Müller, Jens,  
Dipl.-Chem., 89134 Blaustein, DE

⑪ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 43 38 178 A1

⑫ Schaltungsanordnung für ein Brennstoffzellenverbundsystem und Verfahren zum Betreiben einer solchen  
Schaltungsanordnung

⑬ Die vorliegende Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung für ein Brennstoffzellenverbundsystem, das aus mehreren einzelnen in Reihe geschalteten einzelnen Brennstoffzellen besteht, wobei eine Spannungsübertragung der einzelnen Brennstoffzellen erfolgt, wobei Bauelemente vorhanden sind, mittels denen die einzelnen Brennstoffzellen im Sinne einer niederohmigen Parallelschaltung überbrückbar sind. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben einer derartigen Schaltungsanordnung, wobei die Brennstoffzellen überbrückt werden, wenn deren Spannung betragsmäßig unter einen bestimmten Schwellwert fällt oder wenn deren Spannung gegenüber dem Normalbetrieb des Vorzeichen geändert hat oder aber, wobei die Bauelemente steuerbare Schalter sind, die angesteuert werden, wenn eine Entladung des Brennstoffzellenverbundsystems erfolgen soll.

R-BZ

②

DE 198 27 880 C 1

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung nach dem Oberbegriff des Patentanspruches 1 sowie Verfahren zum Betreiben einer Schaltungsanordnung nach den Oberbegriffen der Patentansprüche 14 und 15.

Bei  $H_2/O_2$ -Brennstoffzellenverbundsystemen können Betriebszustände eintreten, bei denen einzelne Zellen ihre Polarität vertauschen. Der Betrag der Zellenspannung liegt in diesem Fall bei etwa 0,5 V. In diesem Betriebszustand wirkt die Zelle als Verbraucher und erwärmt sich dabei unzulässig hoch oder wird sogar zerstört. Beispielsweise kann in einem mobilen Energieerzeugungssystem mittels eines Brennstoffzellenverbundsystems elektrische Energie erzeugt werden, die wiederum zum Antrieb elektrischer Maschinen benutzt werden kann.

Das Brennstoffzellenverbundsystem besteht aus mehreren einzelnen Brennstoffzellen, die in Reihe geschaltet sind. Jede dieser einzelnen Brennstoffzellen liefert den Nennstrom  $I_N$  des Brennstoffzellenverbundsystems, die Summe der Spannungen der einzelnen Brennstoffzellen ergibt die Nennspannung  $U_N$  des Brennstoffzellenverbundsystems. Die elektrische Energieerzeugung findet also in den einzelnen Brennstoffzellen durch eine elektrochemische Reaktion von z. B. Wasserstoff, wasserstoffhaltigem Gas, Methanol oder ähnlichem statt. Beim Betrieb kann es innerhalb einzelner Brennstoffzellen zum Ausfall der Wasserstoff bzw. Sauerstoffversorgung kommen. Hierdurch verschieben sich je nach fehlendem Stoff die Spannungspotentiale der Anode oder der Kathode und die Spannung dieser einzelnen Brennstoffzelle driftet vom positiven in den negativen Bereich. Das bedeutet, daß sich diese Brennstoffzelle verpolt. Indem diese verpolte Brennstoffzelle mit den übrigen unverpolten Brennstoffzellen in Reihe geschaltet ist, wird der von den unverpolten Brennstoffzellen erzeugte Laststrom in die verpolte Brennstoffzelle eingeprägt. Die verpolte Brennstoffzelle wird dadurch zum Verbraucher und erwärmt sich aufgrund der in ihr abfallenden Verlustleistung. Dadurch kann die verpolte Brennstoffzelle zerstört werden. Je nach Wärmeentwicklung kann unter Umständen auch das gesamte Brennstoffzellenverbundsystem zerstört werden.

Um dies zu vermeiden, ist es bekannt, die Spannungen der einzelnen Brennstoffzellen zu erfassen. Wenn bezüglich einzelner Brennstoffzellen erkannt wird, daß die Spannung zu stark abfällt oder sich bereits umpolt, wird die Zufuhr von Gas zu dem gesamten Brennstoffzellenverbundsystem unterbunden, um eine Zerstörung des Brennstoffzellenverbundsystems zu vermeiden.

Aus der DE 43 38 178 A1 ist beispielsweise eine Anordnung zur Überwachung des Zustandes von Brennstoffzellen-Modulen bekannt, bei der die Brennstoffzellen in wenigstens zwei parallel geschalteten Reihen mit jeweils gleicher Anzahl in den Reihen hintereinander geschaltet sind. Die Reihen sind in Zweige einer Brückenschaltung aufgeteilt und mit einer Auswerteanordnung verbunden, die die zwischen den beiden Zweigen abgegriffene Spannung oder den Strom auswertet und bei Abweichung über zulässige Grenzen hinaus eine Fehlermeldung erzeugt und/oder die Brennstoffzellen-Batterie abschaltet.

Demgegenüber ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, bedarfsgerechte Maßnahmen vorzuschlagen, um im Fehlerfall einzelner Brennstoffzellen eine Zerstörung oder Beschädigung des Brennstoffzellenverbundsystems oder einzelner Zellen zu vermeiden.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß nach Anspruch 1 gelöst, wonach Bauelemente vorhanden sind, mittels denen die einzelnen Brennstoffzellen im Sinne einer niederohmigen Parallelschaltung überbrückbar sind.

Indem also einzelne defekte Brennstoffzellen überbrückbar sind, kann das Brennstoffzellenverbundsystem in Betrieb bleiben, indem die elektrische Energie von den verbleibenden Brennstoffzellen geliefert wird.

Bei der Ausgestaltung der Schaltungsanordnung nach Anspruch 2 sind die Bauelemente Dioden.

Dadurch kann eine selbsttätige Regelung erfolgen, indem die Dioden so ausgewählt werden, daß die Flußspannung der Dioden einen Wert hat, bei dem die einzelne Brennstoffzelle wegen einer Verpolung sinnvollerweise überbrückt werden sollte. Im Normalbetrieb der einzelnen Brennstoffzellen sind die Dioden in Sperrrichtung geschaltet.

Bei der Ausgestaltung der Schaltungsanordnung nach Anspruch 3 sind die Bauelemente steuerbare Schalter.

Durch die Verwendung steuerbarer Schalter läßt sich die Überbrückung der einzelnen Brennstoffzellen flexibler vornehmen. Beispielsweise können diese steuerbaren Schalter bereits angesteuert werden, wenn sich die Spannung der einzelnen Brennstoffzellen noch nicht umgepolt hat sondern unter einen bestimmten Schwellwert gesunken ist, der beispielsweise bei 0,5 V liegen kann.

Weiterhin ist es bei Verwendung steuerbarer Schalter möglich, bei Wartungsarbeiten durch eine Ansteuerung der steuerbaren Schalter eine Entladung des Brennstoffzellenverbundsystems zu bewirken, so daß eine Gefährdung von Personen bei den durchzuführenden Wartungsarbeiten vermieden werden kann.

Bei der Ausgestaltung der Schaltungsanordnung nach Anspruch 4 sind die steuerbaren Schalter MOS-Feldeffekttransistoren.

Dadurch kann die Ansteuerung weitestgehend frei von Verlustleistungen auch bei vergleichsweise großen geschalteten Leistungen erfolgen.

Bei der Ausgestaltung der Schaltungsanordnung nach Anspruch 5 sind die Bauelemente außen am Brennstoffzellenverbundsystem angebracht.

Vorteilhaft ist es, wenn die Kontaktierung der Bauelemente eine große Fläche aufweist, um die Stromdichte und damit die lokale Wärmeentwicklung zu minimieren. Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn die Wärme einfach abgeführt werden kann.

Anspruch 5 beschreibt eine Schaltungsanordnung, die insbesondere der Anforderung an die Wärmeabfuhr vorteilhaft gerecht wird. Die Kontaktierung der Bauelemente kann zwischen den Graphitplatten erfolgen.

Bei der Ausgestaltung der Schaltungsanordnung nach Anspruch 6 sind die Bauelemente in das Brennstoffzellenverbundsystem integriert.

Dadurch vereinfacht sich der Herstellungsprozeß, weil die Bauelemente nicht als separate Bauteile vorhanden sein müssen. Weiterhin ist es dabei möglich, durch eine entsprechend geeignete Dimensionierung der Bauteile die Stromdichte zu begrenzen.

In vorteilhafter Ausgestaltung sind die Bauelemente gemäß der Schaltungsanordnung nach Anspruch 7 in den Rand

des Brennstoffzellenverbundsystems integriert.

Dadurch wird vorteilhaft die Kontaktierung der Bauelemente vereinfacht, weil diese die Graphitplatten direkt berühren. Indem die Bauelemente in den Rand eingebracht sind, ist weiterhin eine gute Wärmeabfuhr gewährleistet.

Bei der Ausgestaltung der Schaltungsanordnung nach Anspruch 8 sind die Bauelemente über die Querschnittsfläche des Brennstoffzellenverbundsystems verteilt in das Brennstoffzellenverbundsystem integriert.

Dadurch bilden die Bauelemente keine zusätzlichen Bauteile mehr, so daß der Produktionsablauf vereinfacht wird. Bei der Ausgestaltung der Schaltungsanordnung nach Anspruch 9 ist ein Kühlsystem in das Brennstoffzellenverbundsystem integriert.

Dadurch wird vorteilhaft die Verlustwärme abgeführt, die in den Bauelementen entsteht und die nicht unmittelbar an die Umgebung abgegeben werden kann.

Bei der Ausgestaltung einer Schaltungsanordnung nach Anspruch 10 erfolgt eine Ansteuerung des steuerbaren Schalters über den Ausgang eines Verstärkers bzw. Komparators, dessen Ausgang an den Steueranschluß des steuerbaren Schalters angeschlossen ist, dessen Eingang mit den Anschlüssen der einzelnen Brennstoffzelle verbunden ist, wobei die Energieversorgung des Verstärkers bzw. Komparators erfolgt, indem der Verstärker bzw. Komparator über Stromquellen bzw. Stromsenken an die Anschlußklemmen einer Batterieanordnung angeschlossen ist, wobei den Anschlüssen zur Energieversorgung weiterhin ein Potentialverschiebeelement parallelgeschaltet ist, wobei diesem Potentialverschiebeelement ein Spannungsteilungselement parallelgeschaltet ist, dessen Abgriff mit dem anderen Anschluß der einzelnen Brennstoffzelle verbunden ist.

Das Potentialverschiebeelement kann beispielsweise eine Zenerdiode sein. Das Spannungsteilungselement kann ein Potentiometer oder eine unterteilte Zenerdiode sein.

Dadurch wird es vorteilhaft möglich, durch eine interne Bezugsspannung des Verstärkers bzw. Komparators die Leistungsversorgung aus einer Batterieanordnung – beispielsweise auch aus dem Brennstoffzellenverbundsystem selbst – vorzunehmen. Durch diese Schaltungsanordnung werden die Probleme vermieden, die durch eine Potentialverschiebung abhängig davon auftreten, welche der einzelnen Brennstoffzellen untersucht werden soll. Weiterhin nehmen die Stromquellen eventuelle Betriebsspannungsschwankungen der Batterieanordnung auf.

Der steuerbare Schalter kann als MOS-Anreicherungs- oder Verarmungstransistor vom n- oder p-Kanal-Typ ausgebildet sein oder auch als Darlington-Bipolartransistor vom npn- oder pnp-Typ. Durch die Wahl des entsprechenden steuerbaren Schalters wird der Verstärker bzw. Komparator (invertierend/nicht invertierend) sowie die zweckmäßige Zuordnung des Betriebsspannungsbezugspunktes bestimmt.

Bei der Schaltungsanordnung nach Anspruch 11 ist insbesondere bei den Brennstoffzellen, die am Rand des Brennstoffzellensystems angeordnet sind, zwischen den einen Anschluß der einzelnen Brennstoffzelle und den Eingang des Verstärkers bzw. Komparators sowie zwischen den Abgriff des Spannungsteilungselementes und den anderen Anschluß der einzelnen Brennstoffzelle jeweils eine Potentialverschiebeschaltung angeordnet.

Dadurch kann vorteilhaft ein hinreichendes Spannungsniveau auch zur Überwachung der am Rand des Brennstoffzellensystems befindlichen einzelnen Brennstoffzellen erreicht werden.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Schaltungsanordnung ist in Anspruch 12 beschrieben, nach dem zwischen den Ausgang des Komparators bzw. Verstärkers und den Steueranschluß des steuerbaren Schalters eine Potentialverschiebeschaltung eingebracht ist.

Weiterhin erweist es sich gemäß Anspruch 13 als vorteilhaft, die Schaltungsanordnung so auszubilden, daß die Spannungen der einzelnen Brennstoffzellen mittels eines Verstärkers bzw. Komparators bewertet werden, dessen Ausgang mit wenigstens einem Optokoppler verbunden ist, wobei die Steuerung des steuerbaren Bauelementes über den Optokoppler erfolgt.

Insbesondere bei der Überwachung von einzelnen Brennstoffzellen, die am Rand des Brennstoffzellenverbundsystems angeordnet sind, kann durch die Ausgestaltungen der Schaltungsanordnung nach Anspruch 12 oder 13 eine hinreichende Spannung zur Ansteuerung des steuerbaren Bauelementes erreicht werden.

Vorteilhaft kann die Schaltungsanordnung gemäß Anspruch 14 als integrierte Schaltung ausgebildet sein.

Bei einem Verfahren zum Betreiben einer Schaltungsanordnung gemäß Anspruch 15 werden die Brennstoffzellen überbrückt, wenn deren Spannung betragsmäßig unter einen bestimmten Schwellwert fällt oder wenn deren Spannung gegenüber dem Normalbetrieb das Vorzeichen geändert hat.

Dies kann durch eine geeignete Einstellung bzw. Dimensionierung der Schaltungsanordnung erfolgen.

Bei einem Verfahren zum Betreiben einer Schaltungsanordnung gemäß Anspruch 16 werden die steuerbaren Schalter angesteuert, wenn eine Entladung des Brennstoffzellenverbundsystems erfolgen soll.

Dadurch kann die Sicherheit von Personen beispielsweise bei Wartungsarbeiten an dem Brennstoffzellenverbundsystem gewährleistet werden, wenn das Brennstoffzellenverbundsystem vor der Durchführung der Wartungsarbeiten entladen wird.

Realisierungsmöglichkeiten von Potentialverschiebeelementen und Stromquellen bzw. Stromsenken sind in der Anmeldung derselben Anmelderin mit der internen Nummer 27908/4 beschrieben, die denselben Anmeldetag hat und auf deren Offenbarung zur Vermeidung von Wiederholungen ausdrücklich Bezug genommen wird.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung näher dargestellt. Es zeigt dabei im einzelnen:

Fig. 1: ein Brennstoffzellenverbundsystem bestehend aus mehreren einzelnen Brennstoffzellen,

Fig. 2: ein Brennstoffzellenverbundsystem bestehend aus mehreren Brennstoffzellen, von denen eine einen Defekt aufweist,

Fig. 3: eine Schaltungsanordnung, bei der jeder einzelnen Brennstoffzelle ein Element parallel geschaltet ist, mit dem die jeweilige Brennstoffzelle niederohmig überbrückbar ist,

Fig. 4 und 5: Ausführungsmöglichkeiten der Bauelemente,

Fig. 6 bis 10: Anbringungsmöglichkeiten der Bauelemente am Brennstoffzellenverbundsystem,

Fig. 11: ein Ausführungsbeispiel einer Schaltungsanordnung,

Fig. 12-14: Signalverläufe der Schaltungsanordnung nach Fig. 11.

Fig. 15: ein weiteres Ausführungsbeispiel der Schaltungsanordnung.

Fig. 16: ein Detail der Schaltungsanordnung.

Fig. 17: ein weiteres Ausführungsbeispiel der Schaltungsanordnung.

Fig. 18-20: Details der Schaltungsanordnung nach Fig. 17.

5 Fig. 1 zeigt die Darstellung eines Brennstoffzellenverbundsystems 1, das aus mehreren einzelnen Brennstoffzellen besteht, die mit den Ziffern 2 bis 7 numeriert sind. Jede der einzelnen Brennstoffzellen 2, 3, 4, 5, 6 und 7 liefert den Nennstrom  $I_N$  des Brennstoffzellenverbundsystems 1. Wegen der Reihenschaltung der einzelnen Brennstoffzellen 2 bis 7 ergibt die Summe der Zellenspannungen der einzelnen Brennstoffzellen 2 bis 7 die Nennspannung  $U_N$  des Brennstoffzellenverbundsystems. Die elektrische Energieerzeugung findet in den einzelnen Brennstoffzellen 2, 3, 4, 5, 6 und 7 durch eine elektrochemische Reaktion von z. B. Wasserstoff, wasserstoffhaltigem Gas, Methanol etc. statt.

10 Fig. 2 zeigt wiederum ein Brennstoffzellenverbundsystem 1, bei dem allerdings eine Brennstoffzelle 3 defekt ist. Beim Betrieb des Brennstoffzellenverbundsystems 1 kann es in manchen Fällen innerhalb einzelner Zellen 2, 3, 4, 5, 6, 7 zum Ausfall der Wasserstoff bzw. Luftversorgung kommen. Hierdurch verschieben sich je nach fehlendem Stoff die Spannungspotentiale der Anode oder der Kathode. Die Spannung dieser einzelnen Brennstoffzelle 3 driftet vom positiven in den negativen Bereich. Die einzelne Brennstoffzelle 3 verpolt sich. Durch die Reihenschaltung dieser nun verpolten einzelnen Brennstoffzelle 3 mit den übrigen unverpolten einzelnen Brennstoffzellen 2, 4, 5, 6, 7 wird der von diesen erzeugte Laststrom in die verpolte Brennstoffzelle 3 eingeprägt. Die verpolte Brennstoffzelle 3 wird dadurch zum Verbraucher und erwärmt sich aufgrund der in ihr abfallenden Verlustleistung. Dies führt zur Zerstörung der verpolten Brennstoffzelle 3 und kann je nach Wärmeentwicklung auch das gesamte Brennstoffzellenverbundsystem 1 zerstören.

20 Um dies zu vermeiden, ist gemäß Fig. 3 vorgesehen, daß die einzelnen Brennstoffzellen 2, 3, 4, 5, 6, 7 mittels jeweils eines Bauelementes 8 im Sinne einer niederohmigen Parallelschaltung überbrückbar sind. Wenn in dem gezeigten Ausführungsbeispiel die defekte Brennstoffzelle 3 durch das dieser Brennstoffzelle 3 zugeordnete Bauelement 8 überbrückt wird, fällt in der verpolten Brennstoffzelle 3 keine Verlustleistung mehr ab.

25 Entsprechend der Darstellung der Fig. 4 können diese Bauelemente 8 antiparallel zur Laststromrichtung parallel zu den einzelnen Brennstoffzellen 2, 3, 4, 5, 6, 7 geschaltete Dioden 9 sein. Diese Dioden 9 werden jeweils dann leitend, wenn sich die Spannung der zugehörigen einzelnen Brennstoffzelle 2, 3, 4, 5, 6, 7 umgepolt hat. Diese Schaltungsanordnung ist selbststeuernd. Das heißt, die Diode übernimmt gemäß ihrer Kennlinie den Laststrom in Abhängigkeit von der Zellenspannung. Für Spannungen über der Diodenschwellschwellspannung kann die Diode als durchgeschaltet betrachtet werden. Durch die Wahl einer geeigneten Diode kann die Flußspannung zwischen 0,2 V für Schottky-Dioden und 0,7 V für Silizium-Dioden liegen.

30 Ein weiteres Ausführungsbeispiel zeigt Fig. 5, wonach zu jeder einzelnen Brennstoffzelle 2, 3, 4, 5, 6, 7 MOS-FETs 10 parallel geschaltet, deren Drain-Source Strecken den Laststrom übernehmen, falls die Ansteuerlektronik 11 eine zu geringe oder negative Spannung einer einzelnen Brennstoffzelle 2, 3, 4, 5, 6, 7 erfäßt. In Fig. 5 sind die Signalpegel zu sehen, die von der Ansteuerlektronik 11 an die Gates der einzelnen MOS-FETs 10 ausgegeben werden. Das Gate des MOS-FETs 10, der der defekten Brennstoffzelle 3 zugeordnet ist, wird bei dem im Ausführungsbeispiel der Fig. 5 verwendeten Transistortyp mit dem Pegel HIGH beaufschlagt, so daß der Laststrom von der Drain-Source Strecke dieses MOS-FETs 10 übernommen wird. Die Gates der anderen MOS-FETs 10, die den Brennstoffzellen 2, 4, 5, 6, 7 zugeordnet sind, werden bei dem im Ausführungsbeispiel der Fig. 5 verwendeten Transistortyp mit dem Pegel LOW beaufschlagt, so daß diese MOS-FETs sperren.

40 Mit der Schaltungsanordnung nach Fig. 5 wird ebenso eine definierte, sichere und zerstörungsfreie Entladung der einzelnen Brennstoffzellen 2, 3, 4, 5, 6, 7 ermöglicht. Hierdurch kann bei abgeschaltetem Brennstoffzellenverbundsystem 1 die Gesamtspannung des Brennstoffzellenverbundsystems 1 so niedrig gehalten werden, daß beispielsweise bei der Durchführung von Wartungsarbeiten keine Personen gefährdet werden.

45 Es kann also eine Schutzeinrichtung mit einem steuerbaren Leistungselement als Nebenweg parallel zur einzelnen Brennstoffzelle realisiert werden. Dieses steuerbare Leistungselement wird von einer Steuereinrichtung beeinflusst, die wiederum bestimmte Einschaltbedingungen hat. Neben der gerade beschriebenen Schutzfunktion kann eine weitere Einschaltbedingung aus einem Spannungssignal der einzelnen Brennstoffzelle abgeleitet werden. Diese Spannung der einzelnen Brennstoffzelle liegt bei etwa 1 V im Normalbetrieb der Zelle mit einem stetigen Wechsel auf einen negativen Wert in der Größenordnung von -0,5 V bei Verpolung der einzelnen Brennstoffzelle.

50 Die Bauelemente sollen entweder außen am Brennstoffzellenverbundsystem angebracht oder in das Brennstoffzellenverbundsystem integriert werden. Dazu ist es notwendig, gegenüber den bisher bekannten Brennstoffzellenverbundsystemen konstruktive Änderungen an den Graphitplatten vorzunehmen. Für die Integration der Bauelemente in das Brennstoffzellenverbundsystem müssen entsprechende Öffnungen vorgesehen werden, deren Positionen so gewählt werden müssen, daß einerseits eine gleichmäßige Verteilung der Stromdichte über die Zellenfläche als auch eine entsprechende Abführung der entstehenden Verlustleistungswärme gewährleistet ist.

55 Die Fig. 6 und 7 zeigen mögliche Lösungen für die Integration der Bauelemente in das Brennstoffzellenverbundsystem. Fig. 6 zeigt ein Brennstoffzellenverbundsystem 1 in Seitenansicht, wobei die Graphitplatten 12 seitlich so vergrößert sind, daß genügend Platz für die Bauelemente 8 vorhanden ist. Der gesamte Laststrom kann ohne Leistungseinbuße durch den zusätzlichen Querschnitt fließen. Fig. 7 zeigt einen Schnitt durch das Brennstoffzellenverbundsystem entsprechend der Darstellung der Fig. 6. Es ist die sogenannte MEA - Membrane Electrode Assembly bestehend aus Anode, Kathode und dazwischenliegender Membran - zu sehen, die in der Darstellung der Fig. 6 mit der Bezugsziffer 13 versehen ist, an deren äußeren Rand die Bauelemente 8 angeordnet sind. Dadurch ist sichergestellt, daß die Verlustwärme an die Umgebung abgeführt werden kann. Es zeigt sich bei der Ausgestaltung entsprechend den Fig. 6 und 7, daß eine einfache Kontaktierung der Bauelemente 8 mit den Graphitplatten 12 möglich wird, weil diese unmittelbar aufeinander liegen.

65 Eine weitere Möglichkeit der Anbringung der Bauelemente 8 zeigt Fig. 8. Hier sind die Bauelemente 8 außen an dem Brennstoffzellenverbundsystem 1 angeordnet. Die elektrischen Anschlüsse der Bauelemente 8 werden hier zwischen die Graphitplatten 12 eingefügt.

Eine weitere Möglichkeit zeigt Fig. 9, bei der die Bauelemente 8 gegenüber der Anordnung nach den Fig. 6 und 7 nach innen versetzt sind. Es hat sich insbesondere bei dieser Ausgestaltung als vorteilhaft erwiesen, zusätzliche Kühlkanäle 14 vorzusehen, um eine verbesserte Wärmeabfuhr zu erreichen.

Fig. 10 zeigt eine weitere Möglichkeit der Integration der Bauelemente 8 in das Brennstoffzellenverbundsystem 1. Hierbei ist die MBA 13 so aufgebaut, daß sie zusammen mit den Bauelementen 8 eine Einheit bildet. Hierbei zeigen sich nicht nur die Vorteile bei der elektrischen Kontaktierung wie diese auch bereits mit den Anordnungen nach den Fig. 6, 7 und 9 erreicht wurde. Zusätzlich läßt sich bei der Ausgestaltung nach Fig. 10 noch der Produktionsablauf vereinfachen, weil die Bauelemente 8 nicht mehr als separate Bauteile ausgebildet werden müssen.

Ein weiteres Problem besteht darin, daß für die Schutzschaltungsanordnung jeder einzelnen Brennstoffzelle ein eigenes Bezugspotential zu wählen ist, was z. B. eine jeweils getrennte Stromversorgung der Steuereinheit bedingt. Es ist aber andererseits sinnvoll, die Stromversorgung aller Steuereinheiten der Brennstoffzelle selbst zu entnehmen, wobei mögliche Betriebsspannungsschwankungen ausgeglichen werden sollen.

Dieses Problem kann dadurch gelöst werden, daß die Spannung der einzelnen Brennstoffzellen einem Verstärker bzw. Komparator zugeführt wird, der einen steuerbaren Schalter steuert. Anstelle eines steuerbaren Schalters können auch mehrere parallel liegende steuerbare Schalter gesteuert werden. Dadurch verringert sich nochmals der ohmsche Widerstand.

Eine spezielle Schaltungsauslegung sichert, daß der Einschaltzeitpunkt des steuerbaren Schalters innerhalb des Spannungsbereiches der Spannung der einzelnen Brennstoffzelle beliebig einstellbar ist.

Die Veränderung des Einschaltzeitpunktes wird durch eine zusätzliche (veränderbare) Hilfsspannung in Reihe zum Meßsignal der einzelnen Brennstoffzelle erreicht. Die Hilfsspannung ergibt sich durch Aufspaltung des virtuellen Massepunktes der Verstärker/Komparator-Schaltung und des Massepunktes der Spannungsversorgung des Verstärkers. Die Verstärkerbetriebsspannung wird als Spannung über zwei Zener-Diode (mit parallelliegendem Potentiometer) gewonnen, die über Stromquellen/Stromsenken an die Außenanschlüsse des Brennstoffzellenverbundsystems bzw. einer Hilfsbatterie angeschlossen sind. Die Stromquellen nehmen die restlichen Spannungsabfälle und so auch Betriebsspannungsschwankungen auf.

Fig. 11 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel einer derartigen Schaltungsanordnung. Der Verstärker/Komparator V wird durch die beiden Stromquellen  $I_{Q1}$ ,  $I_{Q2}$  (gleiche Größenordnung) potentialmäßig schwebend gespeist und seine Versorgungsspannung durch ein Potentialverschiebeelement  $S_c$  (beispielsweise zwei Zenerdioden), das eine Stabilisierung der Spannung bewirkt, auf  $U_z = 2U_B$  eingestellt. Der Abgriff P stellt das Bezugspotential  $\phi_0$  der Schaltung dar. Dieser Abgriff P ist gleichzeitig mit einem der beiden Pole der zu schützenden einzelnen Brennstoffzelle verbunden. Dieser einzelnen Brennstoffzelle parallel liegt das Leistungsschutzelement T, zweckmäßig ein Feldeffekt- oder Darlington-Bipolartransistor.

Der Verstärker hat die virtuelle Masse M auf genau der halben Betriebsspannung. Zwischen Potentiometerabgriff P und virtueller Masse M entsteht die Hilfsspannung ( $U_2 = k \cdot 2U_B$ ):

$$U_H = U_B - U_2 \Rightarrow -U_B \leq U_H \leq U_B,$$

so daß M das Potential  $\phi_c = \phi_0 - U_H$  besitzt.

Der Verstärker/Komparator V (mit der Eingangsspannung  $U_e$ ) ist eingangsseitig an die einzelne Brennstoffzelle (Anschluß B) geschaltet und es gilt:

$$U_e = \phi_a - \phi_c = \phi_a - \phi_0 + U_H = U_Q + U_H.$$

$U_Q$  ist die Zellenspannung der Batterie im Umkehrzustand  $> 0$ . Hat der Verstärker/Komparator die Übertragungseigenschaft  $U_a = k U_e$  für die Ausgangsspannung  $U_a$  ( $k > 0$ : nichtinvertierend;  $k < 0$ : invertierend; entsprechend den Darstellung in den Fig. 12 und 13), so beträgt das Ausgangspotential:

$$\phi_d = U_a + \phi_c = k U_e + \phi_0 - U_H.$$

Im Komparator- bzw. Sättigungsbetrieb erreicht  $k U_e$  maximal die Werte  $+U_B$  bzw.  $-U_B$ . Damit steht als Steuersignal für den Leistungsschalter die Spannung

$$\phi_d - \phi_0 = U_{GS} = +U_B \text{ (bzw. } -U_B) - U_H$$

zur Verfügung, die je nach Auslegung maximal zwischen  $-2U_B \leq U_{GS} \leq 2U_B$  liegen kann. Da die Komparatorschaltung (bzw. Verstärkeranordnung) bei  $U_e = 0$  (das heißt bei  $\phi_0 - \phi_a = U_H$ ) umschaltet und  $(\phi_a - \phi_0)$  durch den jeweiligen Zustand der einzelnen Brennstoffzellen gegeben ist (dabei bedeutet:  $(\phi_a - \phi_0) < 0$ : Normalbetrieb;  $(\phi_a - \phi_0) > 0$ : Umkehrbetrieb, Gefährdung der Zelle), kann der Umschaltzeitpunkt durch die Wahl von  $U_H = U_B - U_2$  (größer, gleich oder kleiner als 0) und somit durch das Spannungsteilungselement (Potentiometer  $R_p$ ) beliebig eingestellt werden.

Als steuerbarer Schalter T kann zweckmäßigerweise ein MOS-Leistungs-FET verwendet werden, der der einzelnen Brennstoffzelle mit seiner Source-Drain-Strecke so parallelgeschaltet wird, daß es bei Sperrung der Zelle im Widerstands- bzw. Sättigungsbetrieb arbeitet (Zellenspererschaltung). Grundsätzlich ist auch ein entsprechender Betrieb an der flußgepolten Einzelzelle möglich, doch sollte die Zellenspererschaltung vorgezogen werden.

Ohne Anliegen des Steuersignales  $U_{GS}$  (genau genommen also für  $U_{GS} < U_{TH}$   $U_{TH}$  Schwellspannung des n-Kanal-Anreicherungstransistors) wird der n-Kanal Transistor nach Fig. 12:

- ausgeschaltet beim Anreicherungs-FET und
- eingeschaltet beim Verarmungs-FET.

Sinngemäß kann die Schutzschaltung gemäß Fig. 13 auch für einen Komplementär-Leistungsschalter ausgelegt werden.

- Im ausgeschalteten Zustand fließt durch die Source-Drain-Strecke des Feldeffekttransistors gemäß Fig. 11 nur ein vernachlässigbarer Reststrom, was sich aus der Darstellung in Fig. 14 ergibt. Im eingeschalteten Zustand beträgt der Widerstand (im Betriebsmodus Widerstandsbereich) etwa:

$$R = k / (U_{GS} - U_{TH})$$

- Dabei liegt die Spannung  $U_{DS}$  unter der Sättigungsspannung  $U_{DSR}$ , die bei Leistungstransistoren etwa zwischen 0,1 und 2 V liegt. Es gibt keine Schwellspannung  $U_F$  in der  $I_D - U_{DS}$ -Kennlinie, wie dies etwa bei einer Halbleiterdiode der Fall ist, bei der die Schwellspannung  $U_F$  etwa 0,7 V beträgt. Durch die Steuerspannung  $U_{GS}$  läßt sich der Hineinschaltwiderstand  $R$  stufenlos zwischen  $\infty$  (Transistor ausgeschaltet) und einem Minimalwert (transistorgegeben) steuern.

- Der einstellbare Widerstand  $R$  richtet sich nach dem erforderlichen Maximalstrom durch die Zelle im Sperrzustand, er kann gegebenenfalls durch die Parallelschaltung mehrerer Transistoren verkleinert werden und wird vom benutzten Transistortyp bestimmt.

- Soll beispielsweise als steuerbarer Schalter ein n-Kanal-Anreicherungs transistor dienen, der bei Spannungsumkehr der Einzelzelle umschaltet (also für die Bedingung  $\phi_s > \phi_0$ ), so muß wegen  $U_{GS} > 0$  das Gatepotential  $\phi_d$  gegenüber  $\phi_0$  ansteigen, um den Transistor einzuschalten. Da in diesem Fall das Ausgangspotential den Wert  $\phi_d = U_B - U_H + \phi_0$  (bei nichtinvertierendem Verstärker/Komparator) hat, wird der Transistor eingeschaltet. An einem Umkehrkomparator würde hingegen  $\phi_d = -U_B - U_H + \phi_0$  auftreten und der Transistor wird ausgeschaltet.

- Genaugenommen lautet die Einschaltbedingung durch die Transistorschwellspannung  $U_{TH} (> 0, \text{n-Kanal-Anreicherungs transistor})$   $U_{GS} - U_{TH} > 0$ , d. h.  $U_{GS} > U_{TH}$ . Umgekehrt würde ein Verarmungs-n-Kanal-Transistor im ersten Fall ausgeschaltet, im zweiten eingeschaltet.

- Ohne Einschränkung der Allgemeinheit kann als Bezugspotential  $\phi_0$  auch der Minuspol B' der einzelnen Brennstoffzelle gewählt werden. Dann sind die Steuerbedingungen des steuerbaren Schalters entsprechend zu modifizieren.

Bei Verwendung eines Feldeffekttransistors sollte der Bulkanschluß so (negativ) vorgespannt werden, daß die Substratdiode sowohl im Vorwärts- wie auch im Rückwärtsbetrieb des Transistors gesperrt bleibt.

- Ist kein Bulkanschluß vorhanden, so müssen Drain und Source vertauscht werden, also genau umgekehrt zu der in Fig. 11 gezeigten Schaltungsanordnung. Dadurch befindet sich die Substratdiode im nicht-verpolten Feld (Normalzustand) im gesperrten Zustand.

Als steuerbarer Schalter kann auch ein Darlington-Bipolartransistor dienen. Dabei sind für einen npn-Transistor die Anschlußpunkte B' = Kollektor, A' = Emittor zu wählen und die Steuerspannung  $U_{BE}$  hat sinngemäß das gleiche Vorzeichen wie  $U_{GS}$ .

- Der Darlingtontransistor bietet gegenüber dem gewöhnlichen Bipolarleistungstransistor den großen Vorteil des deutlich geringeren Steuerstromes (im mA-Bereich). Wegen des großen erforderlichen Ausgangsstromes im Bereich zwischen 50A und 100A wären sonst Steuerströme im A-Bereich erforderlich, die die Schutzschaltung nicht aufbringen kann.

- Für die Stromquellen/Stromsenken  $I_{Q1}, I_{Q2}$  gibt es verschiedene Realisierungen, auf die hier nicht weiter eingegangen wird. Als Potentialverschiebeelemente können beispielsweise eine oder mehrere reihengeschaltete Zenerdioden verwendet werden.

- Weiterhin muß dafür gesorgt werden, daß über den Stromquellen ein ausreichender Spannungsabfall auftritt. Das kann insbesondere bei der Verarbeitung von Signalen der Randzellen des Brennstoffzellenverbundsystems problematisch sein. Während die Stromversorgung des Verstärkers/Komparators über Stromquellen aus dem Brennstoffzellenverbundsystem stets möglich ist, wenn die zu schützende einzelne Brennstoffzelle im mittleren Teil des Brennstoffzellenverbundsystems liegt, können bei einer einzelnen Brennstoffzelle, die sich im Randbereich des Brennstoffzellenverbundsystems befindet, Probleme auftreten. Es kann dann passieren, daß für eine der beiden Stromquellen kein hinreichender Spannungsabfall mehr zur Verfügung steht.

- Bei Verwendung einer Schaltung nach dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 15 ergeben sich folgende Steuerungsbedingungen. Das Potential  $\phi_s$  des Batteriepol B', der das Meßsignal liefert, wird mit einer Potentialverschiebeschaltung ( $U_{V1}, I_{Q3}$ ) um die Spannung  $U_{V1}$  auf

$$\phi_s' = \phi_s - U_{V1}$$

- verschoben. Dasselbe gilt für den Ausgangsmassepunkt P, dessen Potential mit der Potentialverschiebeschaltung  $U_{V2}, I_{Q4}$  zwischen den Punkten A, B des Brennstoffzellenverbundsystems auf

$$\phi_0' = \phi_0 - U_{V2}$$

- verschoben wird.

Dann hat die virtuelle Masse M das Potential  $\phi_c' = \phi_0' - U_H$ , wobei gilt  $U_H = U_B - U_2$ . Am Verstärkereingang liegt das Steuersignal

$$U_c = \phi_s' - \phi_c' = \phi_s - U_{V1} - \phi_0 + U_{V2} + U_H = \phi_s - \phi_0 + U_H, \text{ mit } U_{V1} = U_{V2}.$$

- Die Hilfsspannung kann jetzt zusätzlich noch durch  $U_{V1}$  oder  $U_{V2}$  modifiziert werden. Das Ausgangspotential beträgt:

$$\phi_d' = U_s + \phi_c' = k U_c + \phi_c' \Rightarrow +U_B + \phi_c' \text{ bzw. } -U_B + \phi_c'.$$

Die Steuerspannung des steuerbaren Schalters T (n-Kanal-Anreicherungs-FET) beträgt:

$$U_{GS} = \phi_d' - \phi_0 = U_A + \phi_c' - \phi_0 = +U_B \text{ (bzw. } -U_B) + U_A - U_{V2} - U_H.$$

Für die Einschaltspannung ist wieder die Spannung  $U_{GS} - U_{TH}$  maßgebend. Die Verschiebespannung  $U_V$  sollte in der Größenordnung der Versorgungsspannung  $U_B$  liegen.

Die Schaltung nach Fig. 15 kann ausgelegt werden für steuerbare Schalter wie beispielsweise n- oder p-Kanal Verarmungs-/Anreicherungs-MOSFET, npn-Darlingtontransistor, die dazu komplementären Transistortypen, für die am unteren Ende (bei B-) liegenden letzten einzelnen Brennstoffzellen oder auch für die Wahl von B' statt A' als gemeinsames Bezugspotential  $\phi_0$ .

Eine weitere Ausgestaltung des Ausgangskreises ergibt sich gemäß Fig. 16, wonach der Verstärkerausgang auf eine Spannungsrückverschiebeschaltung bestehend aus den beiden Stromquellen  $I_{Q5}$ ,  $I_{Q6}$  und dem Verschiebeelement  $U_{V3}$  arbeitet, wobei die beiden Stromquellen  $I_{Q5}$  und  $I_{Q6}$  möglichst gleich sind. Die Steuerspannung beträgt:

$$U_{GS} = \phi_A - \phi_0 = \phi_d' + U_{V3} - \phi_0 = +U_B \text{ (bzw. } -U_B) + U_{V3} - U_{V2} - U_H$$

mit dem Sonderfall  $U_{V3} = U_{V2}$ .

Die Stromquelle  $I_{Q5}$  sollte dabei eine möglichst geringe Compliance-Spannung haben (unter der Schwellspannung von T), was z. B. mit einem Verarmungs-Feldeffekttransistor hinreichend gut realisierbar ist.

Eine weitere Ausgestaltung der Schaltungsanordnung ergibt sich gemäß Fig. 17, wonach vom Ausgang des Verstärkers ein oder mehrere reihengeschaltete Optokoppler angeschaltet werden, deren Ausgangsleerlaufspannungen reihengeschaltet sind, entsprechend den Darstellungen in den Fig. 18 bis 20. Die Zahl der Optokoppler wird durch die erforderliche Einschaltspannung des steuerbaren Schalters T bestimmt. Die Ausgangsleerlaufspannung eines Kopplers liegt bei etwa 1 V.

Der Optokoppler kann zwischen Verstärkerausgang und virtuellem Massepunkt M bzw. Punkt P geschaltet werden, ebenso ist bei positiver Verstärkerausgangsspannung  $U_A$  die Flußpolung des Optokopplers möglich. Ebenso ist eine Sperrpolung möglich.

Die Ausgangsschaltung mit Optokopplern nach Fig. 17 kann auch auf andere Ausführungsbeispiele von Schaltungsanordnungen angewendet werden (Fig. 11 und 15). Dabei kann auf eine Spannungsrückverschiebeschaltung  $U_{V3}$ ,  $U_{Q5}$ ,  $U_{Q6}$  verzichtet werden.

Die Schaltungsanordnung nach Fig. 17 eignet sich wegen des größeren Ausgangsstromes des Optokopplers (einige mA) besonders für Darlington-Leistungsschalter.

Die Schaltungsanordnung nach Fig. 17 ist auch für die steuerbaren Schalter und übrigen Einsatzbedingungen verwendbar, die im Zusammenhang mit den Fig. 11 und 15 erläutert wurden.

#### Patentansprüche

1. Schaltungsanordnung für ein Brennstoffzellenverbundsystem, das aus in Reihe geschalteten einzelnen Brennstoffzellen besteht, die einer Spannungsüberwachung unterliegen, dadurch gekennzeichnet, daß außen am Brennstoffzellenverbundsystem (1) angebrachte oder in dieses integrierte Bauelemente (8, 9, 10, T) vorhanden sind, die in der Lage sind, die einzelnen Brennstoffzellen (2, 3, 4, 5, 6, 7) im Sinne einer niederohmigen Parallelschaltung zu überbrücken.
2. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bauelemente (8) Dioden (9) sind.
3. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bauelemente (8) steuerbare Schalter (10, T) sind.
4. Schaltungsanordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die steuerbaren Schalter (10, T) MOS-Feldeffekttransistoren sind.
5. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bauelemente (8, 9, 10, T) in den Rand des Brennstoffzellenverbundsystems (1) integriert sind.
6. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bauelemente (8, 9, 10, T) über die Querschnittsfläche des Brennstoffzellenverbundsystems (1) verteilt in das Brennstoffzellenverbundsystem (1) integriert sind.
7. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Kühlsystem (14) in das Brennstoffzellenverbundsystem (1) integriert ist.
8. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 3 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß eine Ansteuerung des steuerbaren Schalters (T) über den Ausgang eines Verstärkers oder Komparators (V) erfolgt, dessen Ausgang an den Steueranschluß (G) des steuerbaren Schalters (T) angeschlossen ist, dessen Eingang mit dem einen Anschluß (B') der einzelnen Brennstoffzelle verbunden ist, wobei die Energieversorgung des Verstärkers bzw. Komparators (V) erfolgt, indem der Verstärker oder Komparator (V) über Stromquellen oder Stromsenken ( $I_{Q1}$ ,  $I_{Q2}$ ) an die Anschlußklemmen einer Batterieanordnung angeschlossen ist, wobei den Anschlüssen zur Energieversorgung weiterhin eine Potentialverschiebeelement parallelgeschaltet ist, wobei diesem Potentialverschiebeelement ein Spannungsteilungselement ( $R_P$ ) parallelgeschaltet ist, dessen Abgriff mit dem anderen Anschluß (A') der einzelnen Brennstoffzelle verbunden ist.
9. Schaltungsanordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß insbesondere bei den Brennstoffzellen, die am Rand des Brennstoffzellenverbundsystems (1) angeordnet sind zwischen den einen Anschluß (B') der einzelnen Brennstoffzelle und den Eingang des Verstärkers oder Komparators (V) sowie zwischen den Abgriff des Spannungsteilungselementes ( $R_P$ ) und den anderen Anschluß (A') der einzelnen Brennstoffzelle jeweils eine Potential-

verschiebeschaltung ( $U_{V1}$ ,  $U_{V2}$ ) geordnet ist.

10. Schaltungsanordnung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den Ausgang des Komparators oder Verstärkers (V) und den Steuerschluß (T) des steuerbaren Schalters eine Potentialverschiebeschaltung ( $U_{V3}$ ) eingebracht ist.

5 11. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 3 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannungen der einzelnen Brennstoffzellen mittels eines Verstärkers oder Komparators (V) bewertet werden, dessen Ausgang mit wenigstens einem Optokoppler verbunden ist, wobei die Steuerung des steuerbaren Bauelementes (T) über den Optokoppler erfolgt.

10 12. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaltungsanordnung durch eine oder mehrere integrierte Schaltungen gebildet wird.

13. Verfahren zum Betreiben einer Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennstoffzellen (2, 3, 4, 5, 6, 7) überbrückt werden, wenn deren Spannung betragsmäßig unter einen bestimmten Schwellwert fällt oder wenn deren Spannung gegenüber dem Normalbetrieb das Vorzeichen geändert hat.

15 14. Verfahren zum Betreiben einer Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 3 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die steuerbaren Schalter (10, T) angesteuert werden, wenn eine Entladung des Brennstoffzellenverbundsystems (1) erfolgen soll.

---

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

---



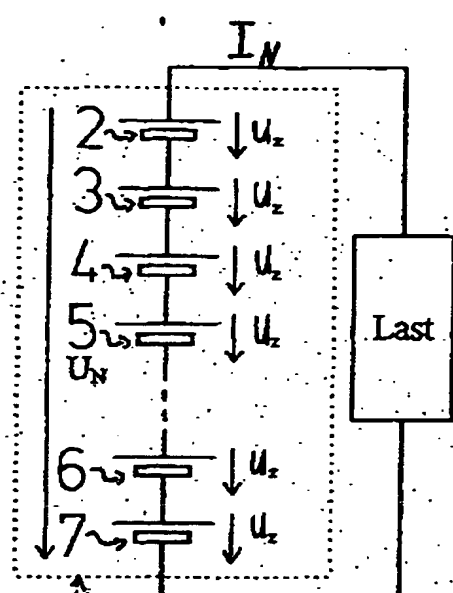


Fig. 1

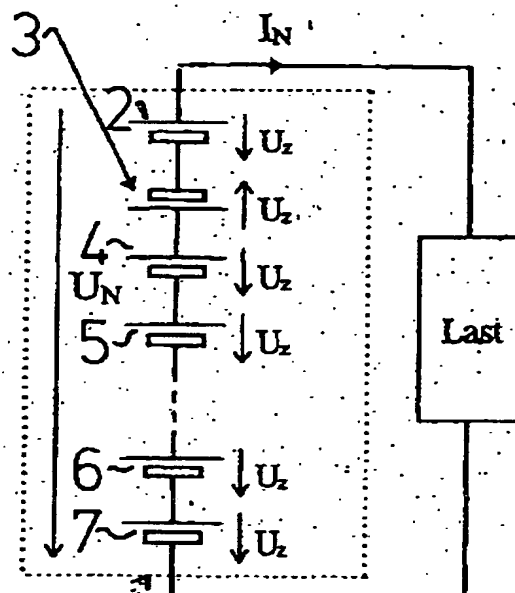


Fig. 2

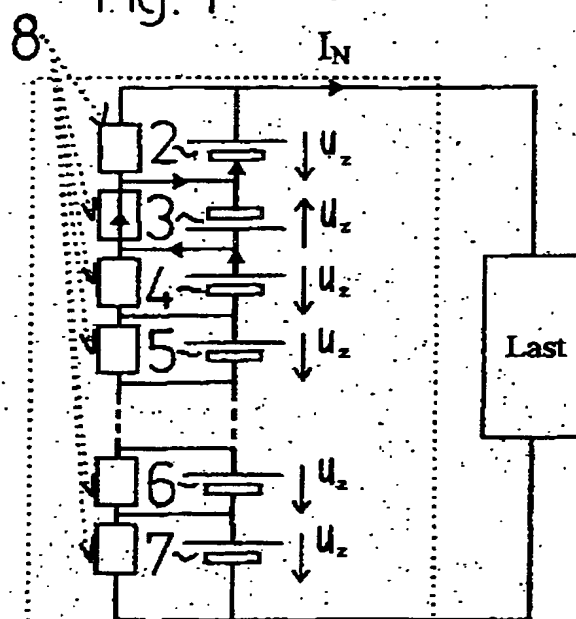


Fig. 3

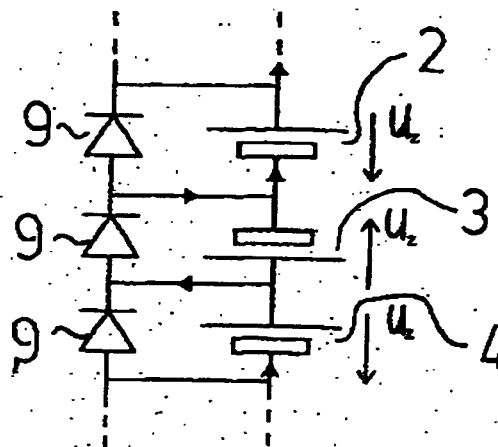


Fig. 4

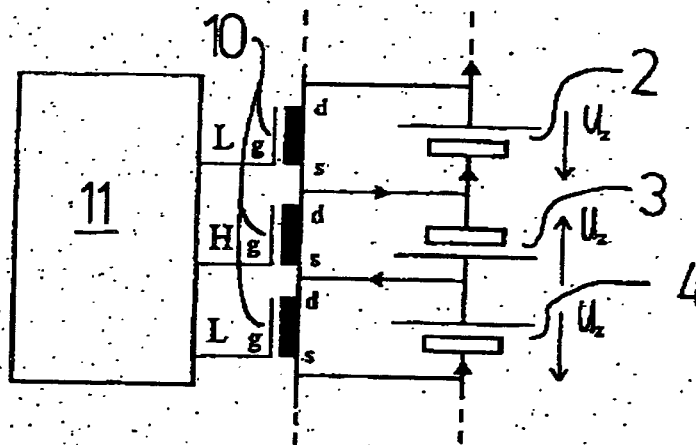


Fig. 5

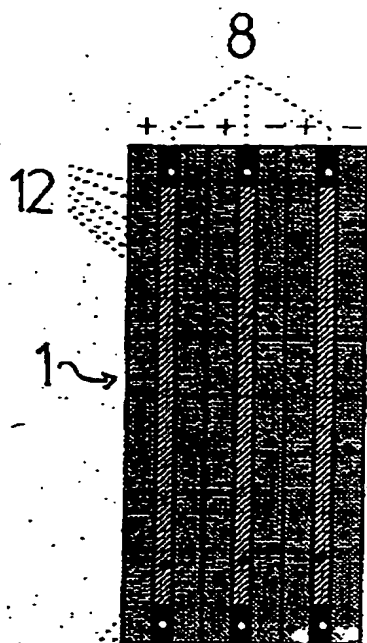


Fig. 6

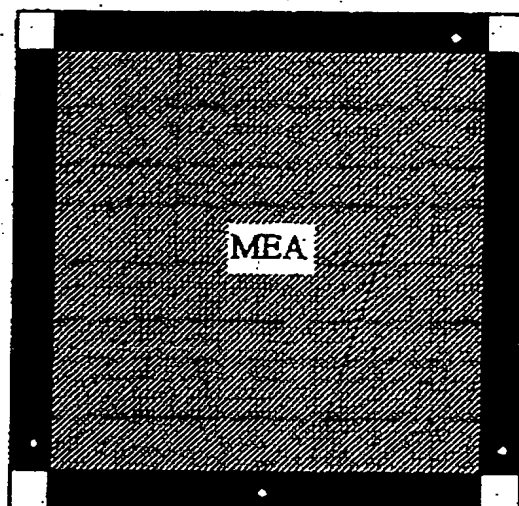


Fig. 7

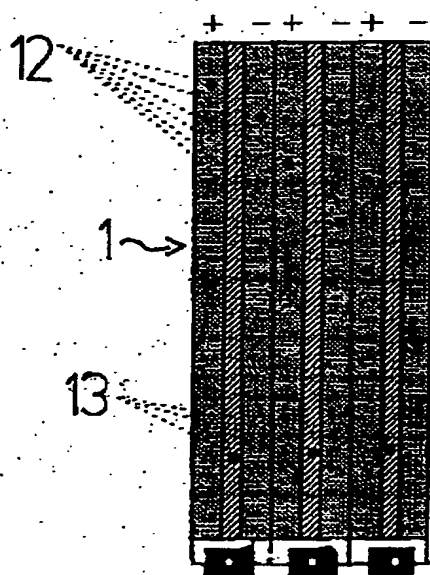


Fig. 8

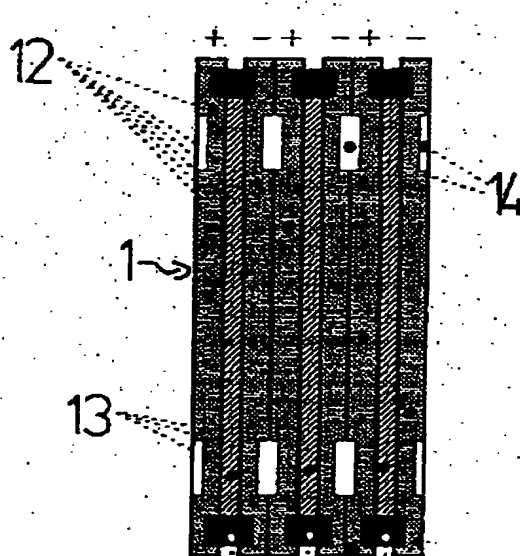


Fig. 9

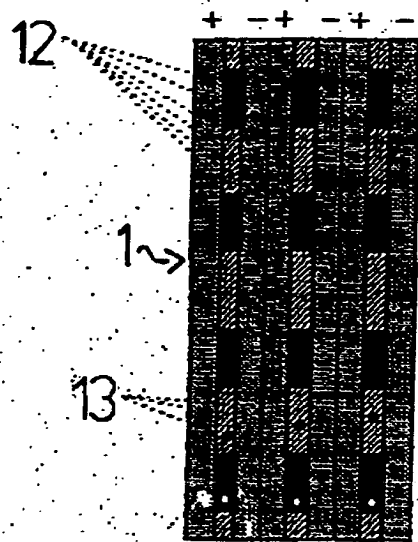


Fig. 10

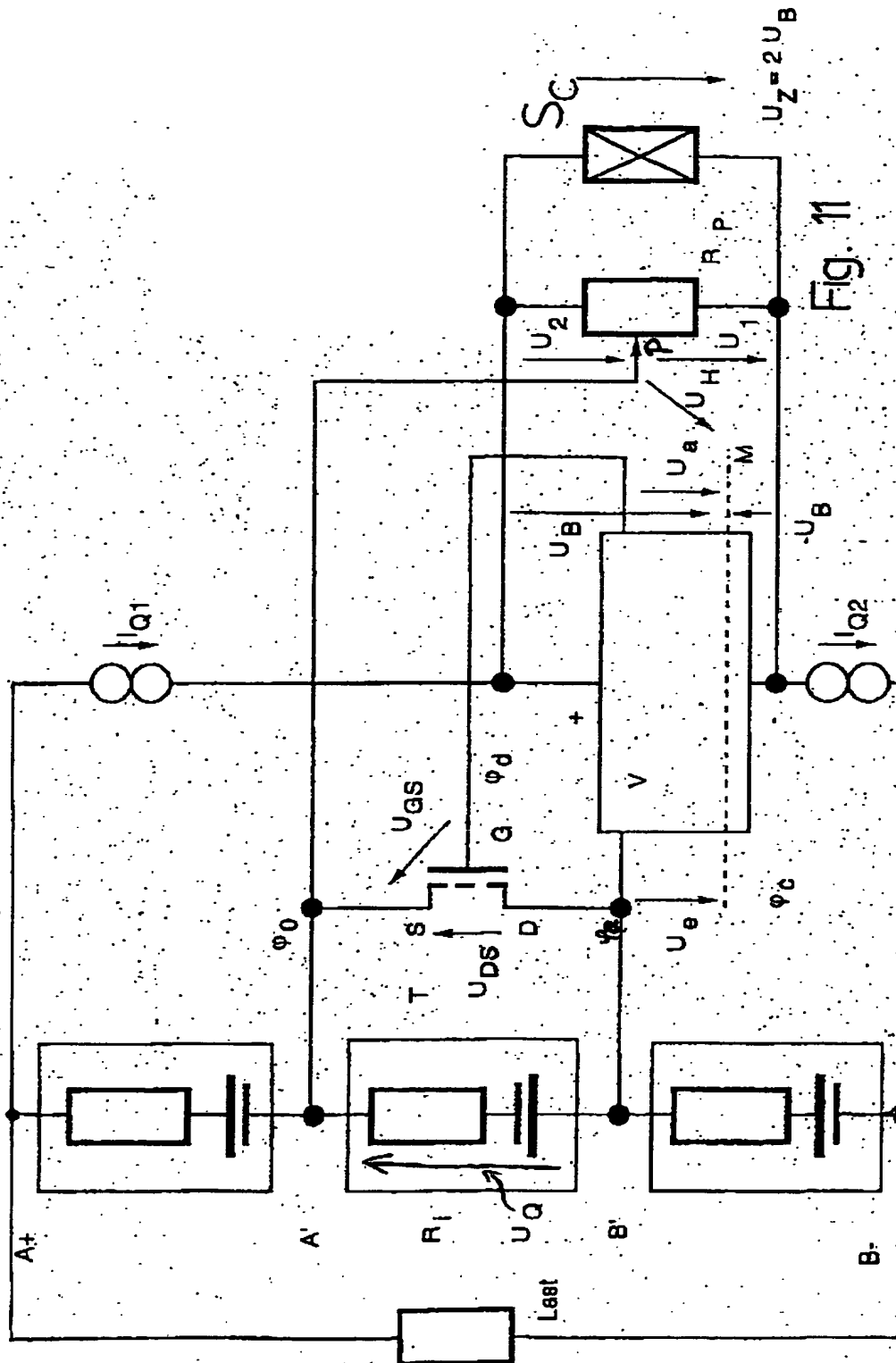


Fig. 11

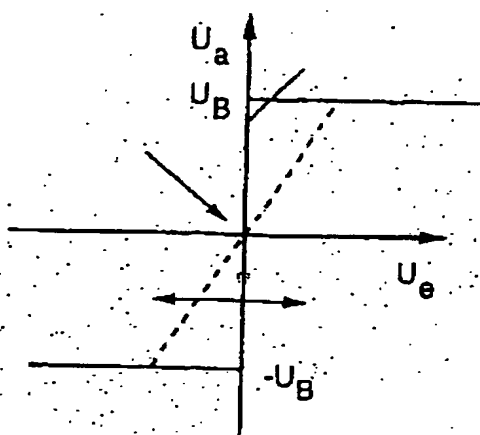


Fig. 12

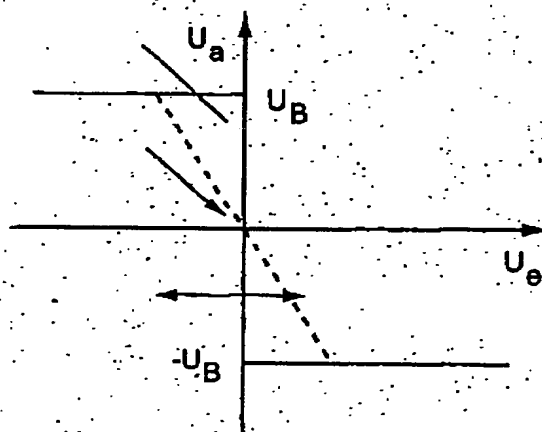


Fig. 13

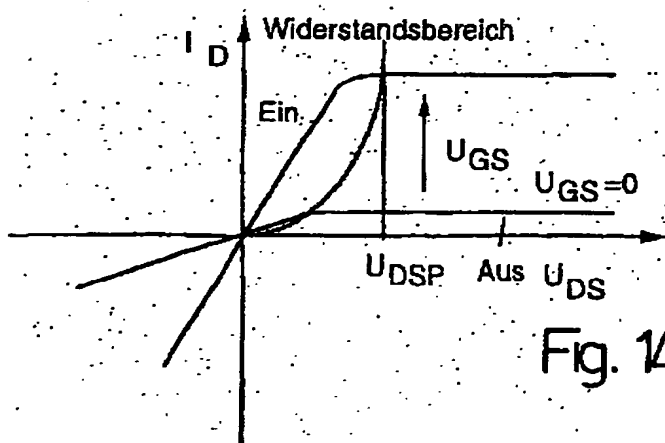
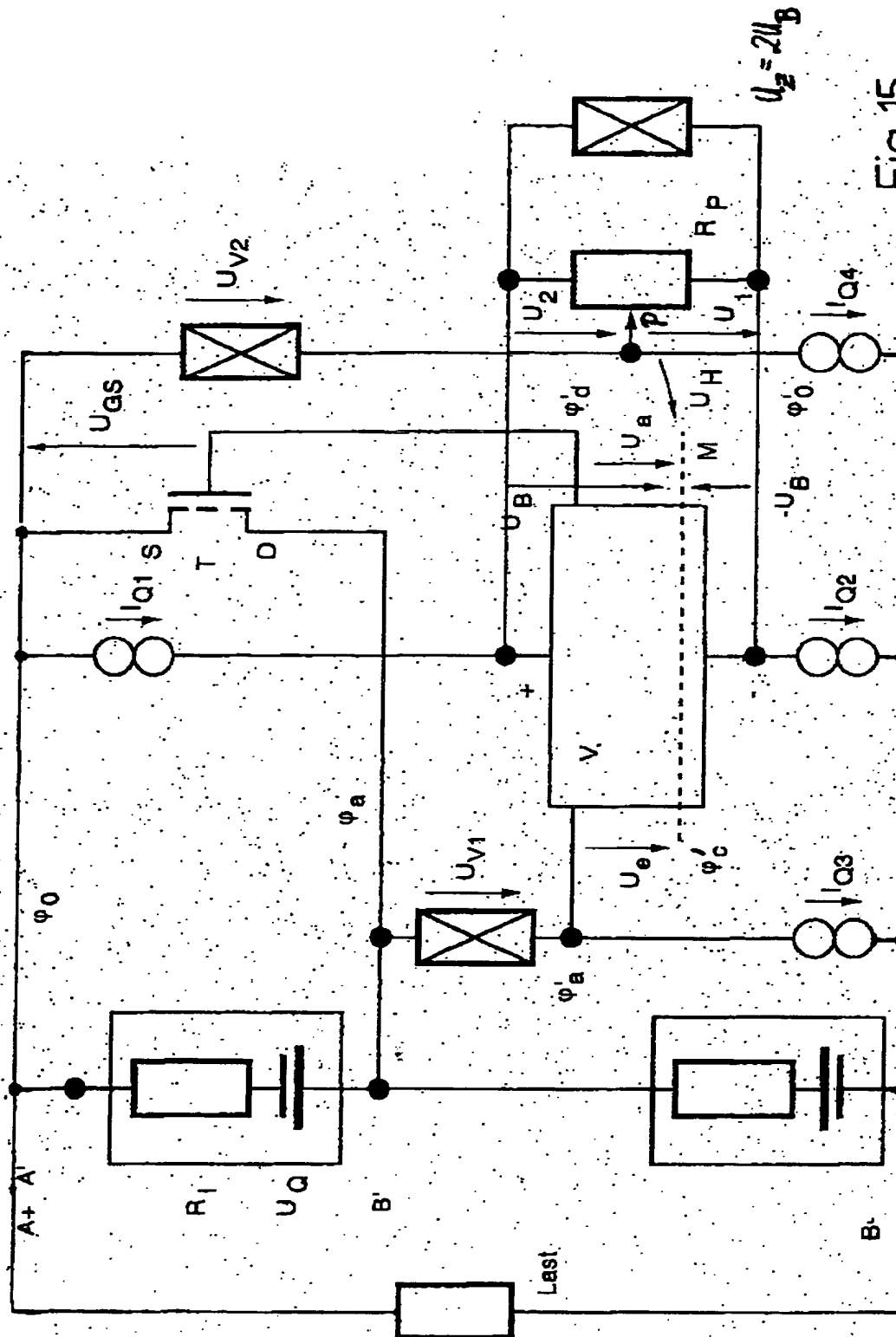


Fig. 14



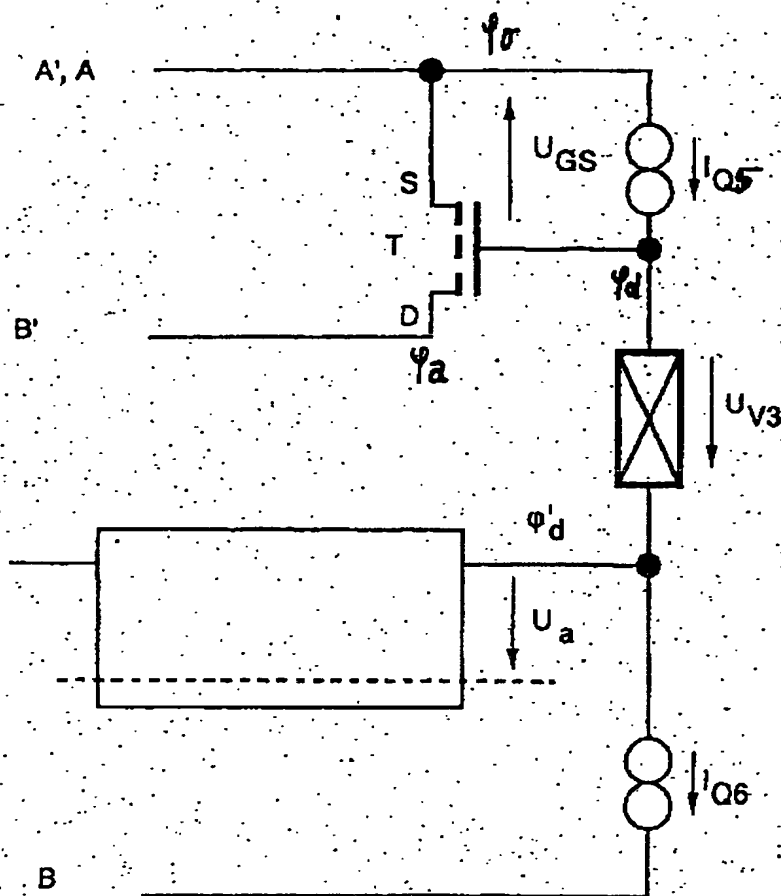
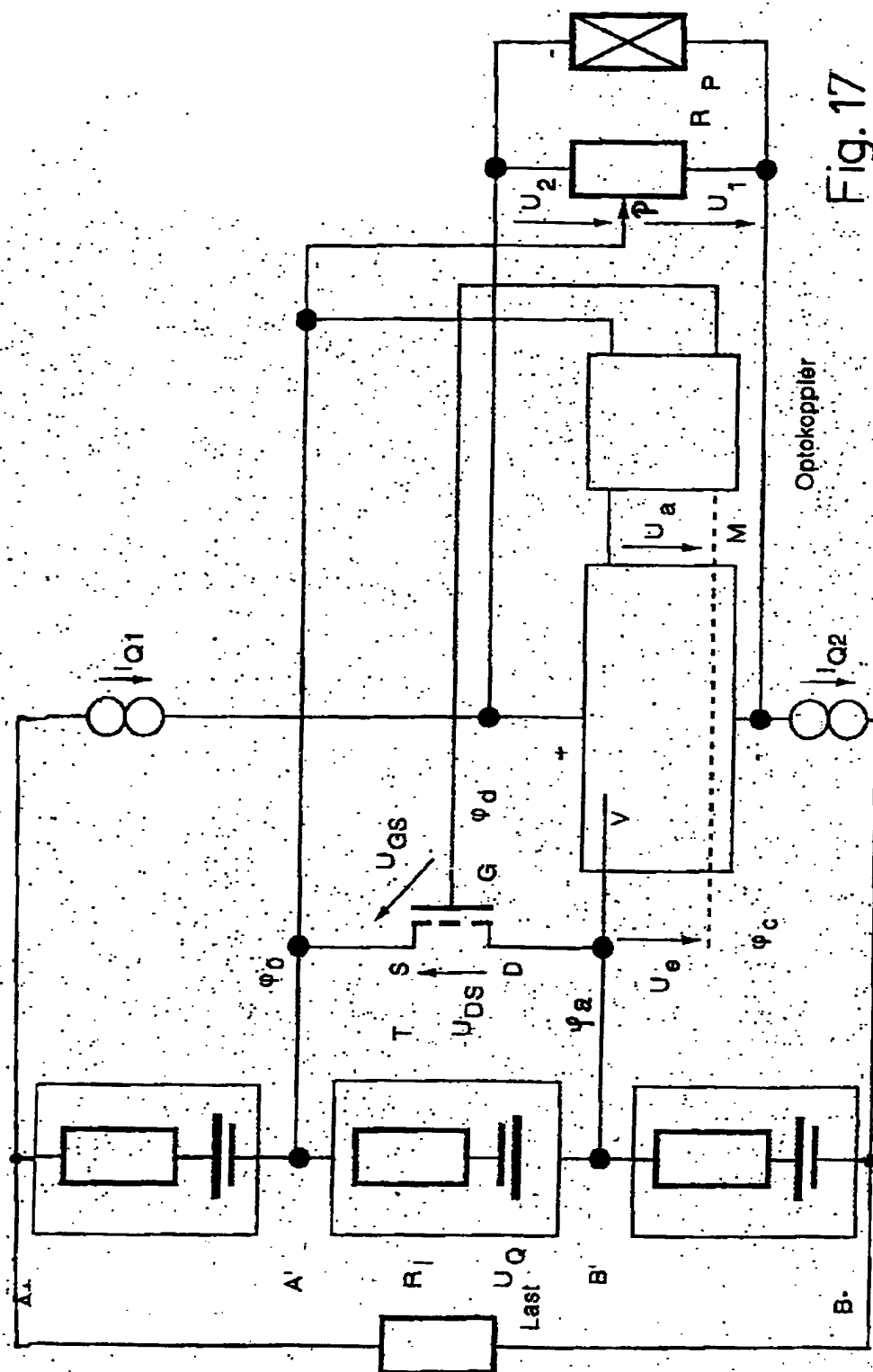


Fig.16





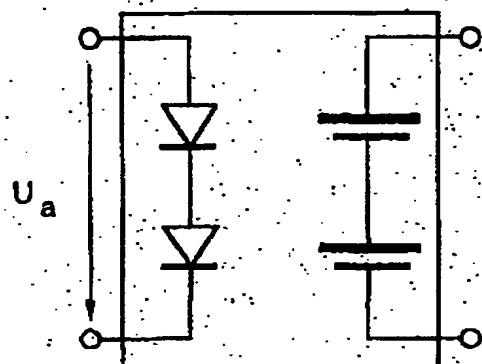


Fig. 18

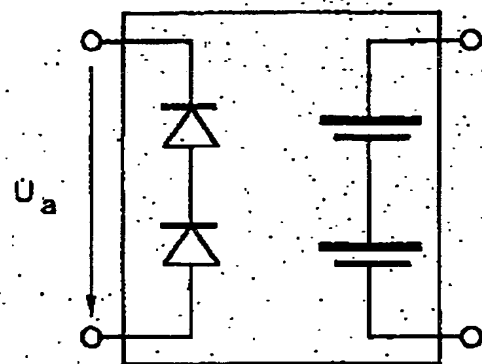


Fig. 19

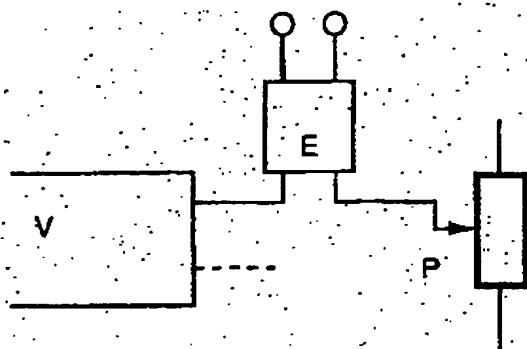


Fig. 20